Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy

OPEN ACCESS JOURNAL

مقاله پژوهشی

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال سی و دوم، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۴۰۳، از صفحهٔ ۴۷۱ تا ۴۸۶

کانی‌سازی، دگرسانی و میانبارهای سیال کانسار مولیبدن- مس شله‌بران (شمال‌شرق اهر، آذربایجان شرقی)

منصور کاظمی‌راد، سیدغفور علوی*، محمدرضا حسین‌زاده، محسن موید

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۹/۸، نسخه نهایی: ۱۴۰۲/۱۲/۲)

چکیده: کانسار مولیبدن- مس شله‌بران در ۲ کیلومتری شمال‌شرق اهر و در کمربند فلززایی اهر- ارسباران واقع است. این کانسار با سنگ‌های آتشفشانی ائوسن (توف، آگلومرا، آندزیت و داسیت) و توده‌های نفوذی الیگوسن (گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت) میزبانی می‌شود. این سنگ‌ها میزبان پهنه‌های دگرسانی پتاسیمی، فیلیک، پروپیلیتیک و آرژیلیک درون‌زاد هستند که کانی‌سازی اغلب با پهنه‌های دگرسانی پتاسیمی و فیلیک همراه است. در این سنگ‌ها، کانی‌سازی درون‌زاد غالب بوده و بیشتر به صورت انتشاری و رگه- رگچه‌ای (کالکوپیریت، مولیبدنیت، پیریت و مگنتیت) رخ داده است. این کانی‌سازی با انباشته‌های برون‌زاد هماتیت، گوتیت، مالاکیت و آزوریت در بخش سطحی کانسار پوشیده شده است. چهار نوع میانبار سیال دوفازی مایع- گاز غنی از مایع (L-V)، دوفازی گاز- مایع غنی از گاز (V-L)، سه‌فازی مایع- گاز- جامد (L-V-S) و تک فازی گازی (V) در بلورهای کوارتز همزاد با کانی‌سازی دیده شده است. میانبارهای سیال مورد بررسی دارای گستره دمای همگن شدگی ۴۴۷-۱۲۳ درجه سانتی‌گراد هستند. میانبارهای سیال سه فازی L-V-S با محو بلور نمک NaCl در گستره دمایی ۳۱۷-۱۵۶ درجه سانتیگراد متناظر با شوری‌های در گستره ۴۰-۳۰ درصد وزنی نمک NaCl همگن می‌شوند. میانبارهای دوفازی غنی از مایع (L-V) شوری‌هایی در گستره ۱۵٫۹-۰٫۳۶ درصد وزنی معادل نمک طعام را نشان می‌دهند. برپایه داده‌های ریزدماسنجی، جوشش، آمیختگی و سرد شدن ساده سیال‌های کانی‌ساز سازوکارهای موثر در تشکیل و گسترش این کانسار به شمار می‌روند. سیال‌های کانسارساز به احتمال بسیار دارای خاستگاه ماگمایی و ماگمایی- جوی بوده‌اند. انباشته‌های کانیایی دگرسانی و کانی‌زایی و داده‌های ریزدماسنجی رده‌بندی کانسار شله‌بران به عنوان ذخیره مولیبدن- مس پورفیری را تایید می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: *کمربند فلززایی اهر- ارسباران؛ شله‌بران؛ کانی‌سازی؛ دگرسانی؛ میانبارهای سیال مولیبدن- مس پورفیری.*

مقدمه

ناحیه ارسباران در شمال‌غرب ایران، یکی از ایالت‌های فلززایی مس- مولیبدن- طلاست که به عنوان پهنه اهر- ارسباران شناخته می‌شود (شکل ۱) و به دلیل ویژگی‌های زمین‌شناسی، از نظر کانی‌سازی طلا، مس و مولیبدن اهمیت ویژه‌ای دارد [۱]. وجود کانه‌زایی‌های فراوان مس پورفیری، کانسارهای اسکارنی مس به همراه کانه‌زایی مس و طلای نوع رگه‌ای، اهمیت زمین‌شناسی و اکتشافی این منطقه را دو چندان کرده است. فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه باعث باز چرخش سیال‌های کانه‌دار، فعالیت دوباره محلول‌ها و ورود آنها به درون سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی و در نتیجه منجر به دگرسانی‌های مختلف و تشکیل حوضه معدنی گسترده‌ای با کانسارهای شناخته شده است. کانی‌سازی‌های مهمی از مس، مولیبدن، طلا و آهن از نوع پورفیری، اسکارنی و فراگرمایی و در ارتباط با توده‌های نفوذی در این کمربند رخ داده است [۲]. از کانسارهای پورفیری مس در پهنه ارسباران می‌توان کانسارهای

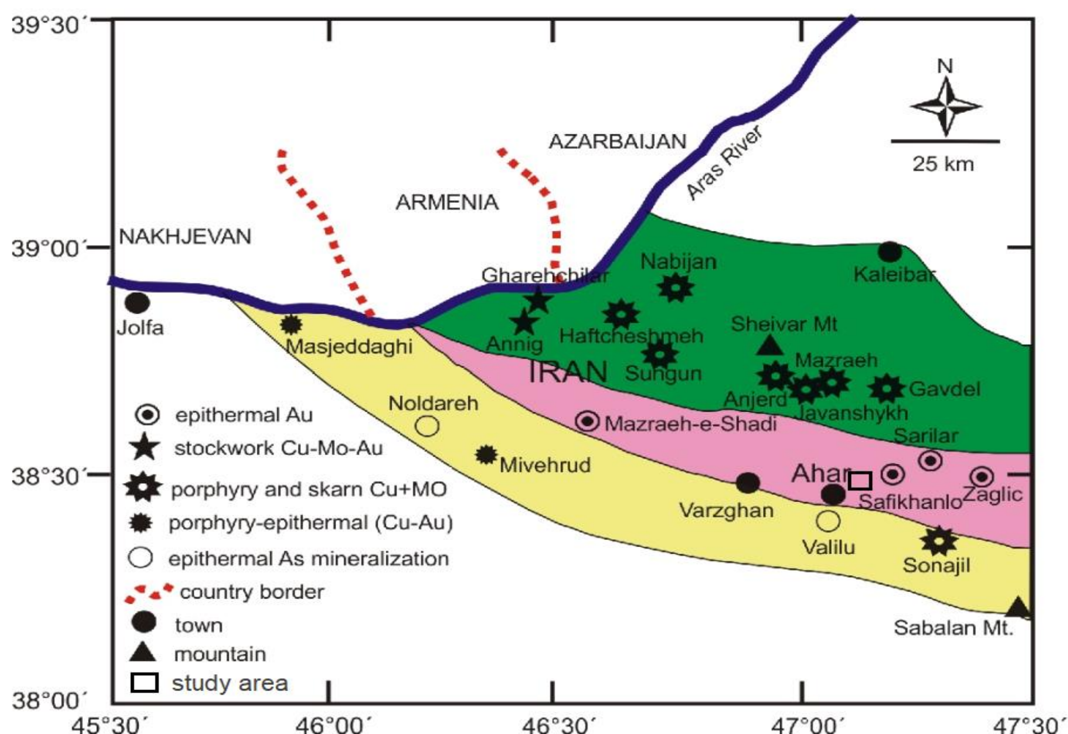
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۴۵۴۰۰۶۹، پست الکترونیکی: ghaforalavi@yahoo.com

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.471]

سونگون [۵-۳]، مسجدداغی [۶]، سوناجیل [۷]، هفت‌چشمه [۸]، کیقال [۹] و دره علی‌جواد [۱۰] را نام برد. از کانسارهای اسکارنی مس در این پهنه فلززایی نیز می‌توان به پهنه‌های اسکارنی پورفیری سونگون [۱۲،۱۱،۴]، مزرعه [۱۳]، انجرد [۱۵،۱۴]، زندآباد [۱۶]، گودال [۱۷-۱۹] و جوانشیخ [۲۰] اشاره کرد. همچنین، از کانی‌سازی‌های سه گانه اسکارنی-پورفیری- فراگرمایی در این پهنه می‌توان کانسار میوه‌رود [۲۱] و از کانسارهای نفوذی و یا پورفیری می‌توان کانسار انیق- قره-چیلر [۲۲] را نام برد. افزون بر این، از کانسارهای طلا فقط فراگرمایی می‌توان به ذخایر هیزه‌جان- شرف‌آباد [۲۳]، صفی-خانلو- نقدوز [۲۴] و استرقان [۲۵] اشاره کرد. ژرف سنگ‌های قره‌داغ، شیورداغ و استوک‌های پورفیری هفت‌چشمه و سونگون از مهم‌ترین توده‌های آذرین درونی در ارتباط با کانه‌زایی در پهنه فلززایی اهر- ارسباران هستند که همبری آنها با واحدهای آهکی کرتاسه و آتشفشانی ائوسن رخداد ذخایر اسکارن، پورفیری، داربستی و فراگرمایی را در پی داشته است.

کانسار مولیبدن- مس شله‌بران با مختصات جغرافیایی ´۰۵ °۴۷ تا´ ۱۰ °۴۷ طول‌شرقی و ´۲۸ °۳۸ تا ´۳۰ °۳۸ عرض‌شمالی از ذخایر این کمربند است که در ۲ کیلومتری شمال‌شرق اهر در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. این منطقه در سال‌های اخیر توسط شرکت معدنی جهان زرجویان پی‌جویی اولیه شده است. مجموع ذخیره مولیبدن کانسار شله‌بران حدود ۱٫۷ میلیون تن با عیار متوسط ۲۸۳ گرم بر تن برآورد شده که بخش پرعیارتر آن دارای ۵۹۸ هزار تن مولیبدن با عیار متوسط ۳۵۲ گرم بر تن است.

تاکنون، بررسی دقیق و جامعی از دیدگاه زمین‌شناسی اقتصادی بر روی کانسار شله‌بران انجام نشده است. در این پژوهش بر پایه بررسی‌های صحرایی، کانی‌شناسی، بافت، دگرسانی و میانبارهای سیال، سازوکار نهشت کانسنگ و نوع کانی‌سازی در کانسار شله‌بران شناسایی شده است. از اهمیت اکتشافی این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: شناسایی انواع دگرسانی‌های فراگرمایی، گستره و تفکیک آنها بر اساس انواع رخساره‌های کانسارهای نوع پورفیری، تعیین شکل‌های مختلف کانی‌زایی شامل نوع آن و ارتباط آنها با پهنه‌های دگرسانی و واحدهای میزبان و نیز برآورد پارامترهای فیزیکوشیمیایی (چون دمای کانی‌زایی، شوری سیال، عمق تشکیل، چگالی و فشار) سیال‌های گرمابی مسئول تشکیل کانسار بر اساس تغییرات ترکیبی کانی‌های شاخص و نتایج بررسی سیال‌های درگیر.



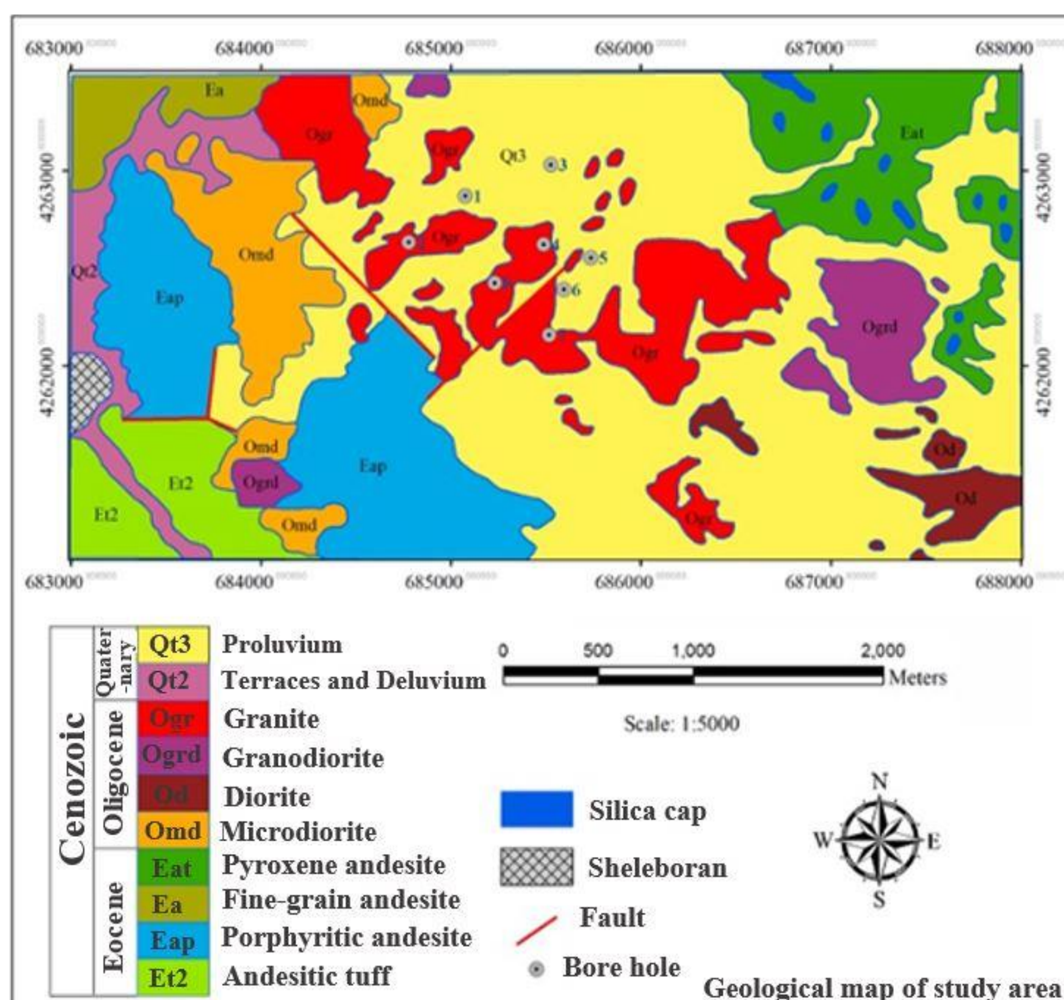
شکل ۱ توزیع پهنه‌های فلززایی و کانه‌زایی مختلف در کمربند سنوزوئیک اهر- ارسباران در شمال‌غرب ایران، برگرفته از مرجع [۱] با کمی تغییرات.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.471]

زمین شناسی

منطقه شله‌بران در دو ورقه ۱:۱۰۰،۰۰۰ زمین‌شناسی اهر [۲۶] و کلیبر [۲۷] واقع است. حدود ۲۰ درصد از شمال منطقه، در جنوب‌غرب ورقه۱:۱۰۰،۰۰۰ کلیبر و۸۰ درصد آن در شمال-غرب ورقه۱:۱۰۰،۰۰۰ اهر قرار دارد. واحدهای سنگی موجود در این ورقه‌ها همان واحدهای موجود در چارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ اهر [۲۸] و از نظر زمانی مربوط به پالئوسن تا عهدحاضر هستند. رخنمون‌های سنگی منطقه شله‌بران در نقشه‌های اهر و کلیبر شامل توف آندزیتی، آندزیت پورفیری، آندزیت بازالتی، پیروکسن آندزیت، داسیت پورفیری، سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی، ایگنمبریت، گدازه داسیتی، گرانیت، دیوریت و گرانودیوریت هستند که بخش‌هایی از این مناطق در اثر محلول‌های گرمابی، دگرسان شده‌اند.

واحدهای سنگی میزبان کانی‌سازی در کانسار شله‌بران سنگ‌های آذرآواری و آذرین خروجی ائوسن از جمله آندزیت، داسیت و توف‌های آندزیتی و داسیتی هستند. از مهم‌ترین سنگ‌های میزبان می‌توان به توده‌های نفوذی گرانیت-گرانودیوریت و دیوریت الیگوسن اشاره کرد که بر واحدهای خروجی ائوسن اثر گذاشته‌اند (شکل ۲). این توده‌های نفوذی به احتمال بسیار، عامل اصلی کانی‌سازی شله‌بران هستند. سنگ-های این توده‌ها از سری ماگمایی آهکی قلیایی با پتاسیم بالا تا شوشونیتی هستند. از نظر محیط زمین‌ساختی، این توده‌ها در موقعیت قوس آتشفشانی پس از برخورد و کرانه‌های فعال قاره-ای جایگیری کرده‌اند. بر اساس بررسی‌های صحرایی، کانی-سازی در کانسار شله‌بران به طور عمده از نوع افشان و رگه-رگچه‌ای بوده که با مناطق دگرسانی پتاسیمی (در عمق) و دگرسانی فیلیک (در مناطق سطحی) در بر گرفته شده است.



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ منطقه کانی‌سازی شله‌بران (با تغییرات از شرکت جهان زرجویان، ۱۴۰۰).

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.471]

سامانه گسلش منطقه

گسل‌های این منطقه را می‌توان به سه رده تقسیم کرد: ۱) گسل‌هایی با روند شمال‌غرب ـ جنوب‌شرق. این گسل‌ها از طویل‌ترین و مهم‌ترین گسل‌های منطقه هستند. تعداد آنها از سایر گسل‌ها بیشتر است و می‌توان آنها را به صورت گسل‌های کششی در نظر گرفت. از مهم‌ترین این گسل‌ها می‌توان به گسل جنوب سمیران کوه اشاره نمود که دارای روند تقریبی N50W بوده که رسوب‌های کواترنری را قطع کرده است. این گسل تا کرانه شمال‌غرب منطقه شله‌بران ادامه یافته و از گستره نقشه خارج شده است. این گسل‌ها جابجایی کمتر از ۵۰ متر داشته‌اند، اما از نظر کانی‌زایی، از گسل‌های مهم محسوب می‌شوند که در دوره کواترنر نیز فعالیت داشته اند. ۲) گسل‌هایی با راستای شمال‌غرب ـ جنوب‌شرق (N15W). طول این گسل‌ها اغلب حدود یک کیلومتر و یا کمتر از یک کیلومتر است. این گسل‌ها دارای جابجایی ناچیز و اغلب کمتر از ۲۰۰ متر و از نوع راستالغز راستگرد هستند. ۳) گسل‌هایی با روند شمال‌شرق– جنوب‌غرب می‌باشند. این گسل‌ها دارای طولی کمتر از ۱/۵ کیلومتر هستند و جابجایی انجام شده در طول آنها کمتر از۲۰۰ متر است این گسل‌ها را می‌توان به عنوان گسل‌های راستالغز چپگرد در نظر گرفت.

روش بررسی

این پژوهش در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده است. در بخش صحرایی، پیمایش‌هایی به منظور شناسایی واحدهای سنگی و بررسی روابط آنها صورت گرفت. بر اساس بررسی‌های صحرایی، تعداد ۷۰ نمونه سنگی از رگه- رگچه‌های کانی‌سازی، بخش‌های دگرسان و سنگ میزبان جمع آوری شد. از بین آنها، ۵۵ نمونه برای بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری انتخاب شده و ۳۵ مقطع نازک و ۲۰ مقطع صیقلی تهیه و با میکروسکوپ نوری عبوری- بازتابی در دانشگاه تبریز مطالعه گردیدند. برای بررسی دقیق دگرسانی‌های همراه با کانه‌زایی، تعداد ۹ نمونه با دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (کرج) طیف‌سنجی شدند (جدول ۱).

جدول ۱ نتایج به دست آمده از پراش پرتو X (XRD) نمونه‌های پهنه دگرسانی کانسار شله‌بران (Po: پتاسیمی، Ph: فیلیک، Pr: پروپیلیتی و Ar: رسی)

کانی	Sh-6. Pr	Sh-13. Ar	Sh-15. Ar	Sh-21. Ph	Sh-23. Ph	Sh-30. Ph	Sh-33. Pr	Sh-36. Po	Sh-48. Ph
کوارتز	*	*	*	*	*	*	*	*	*
اورتوکلاز								*	
مسکوویت		*	*	*	*	*	*		*
بیوتیت								*	
کلسیت	*						*		
کلریت	*						*	*	
آلبیت	*						*	*	*
ایلیت		*			*	*	*		*
کائولینیت		*	*			*			*
پیروفیلیت		*							
مونتموریلونیت			*						
اپیدوت	*						*		
روتیل				*	*				
تورمالین				*		*			*
آلونیت		*	*						
جاروسیت			*		*				*
هورنبلند	*								
پیریت				*	*	*			*
گوتیت		*	*						

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.471]

برای بررسی میانبارهای سیال، تعداد ۸ نمونه مناسب از رگه‌ها و رگه- رگچه‌های کوارتزی کانی‌سازی برداشت شدند. پس از تهیه مقاطع دوبر صیقل و بررسی‌های سنگ‌نگاری آنها، ۴ مقطع مناسب برای ریزدماسنجی میانبارهای سیال انتخاب شده و پارامترهای دمایی لازم برای ۷۷ میانبار سیال با دستگاه سرمایش و گرمایش لینکام مدل MDS600 و میکروسکوپ نوری زایس در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان اندازه‌گیری شدند (جدول ۲). واسنجی دستگاه در مرحله گرمایش تا دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد ا ماده استاندارد نیترات سزیوم برابر با ±۰٫۶ ب و در مرحله سرمایش تا دمای ۱۹۰- درجه سانتیگراد با مایع استاندارد هگزان عادی (ان هگزان) برابر با ±۰٫۲ بود.

نتایج و بحث

دگرسانی

دگرسانی‌های متنوعی شامل پتاسیمی، فیلیک، پروپیلیتیک و رسی (آرژیلیک) در کانسار شله‌بران رخ داده است. دگرسانی‌ها دارای پهنه‌بندی آشکاری بوده به طوریکه دگرسانی‌های پتاسیک و فیلیک در مرکز سامانه و دگرسانی پروپیلیتیک در بخش لبه‌ای واقع هستند. دگرسانی فیلیک در بخش‌هایی در عرض دگرسانی رسی بوده است.

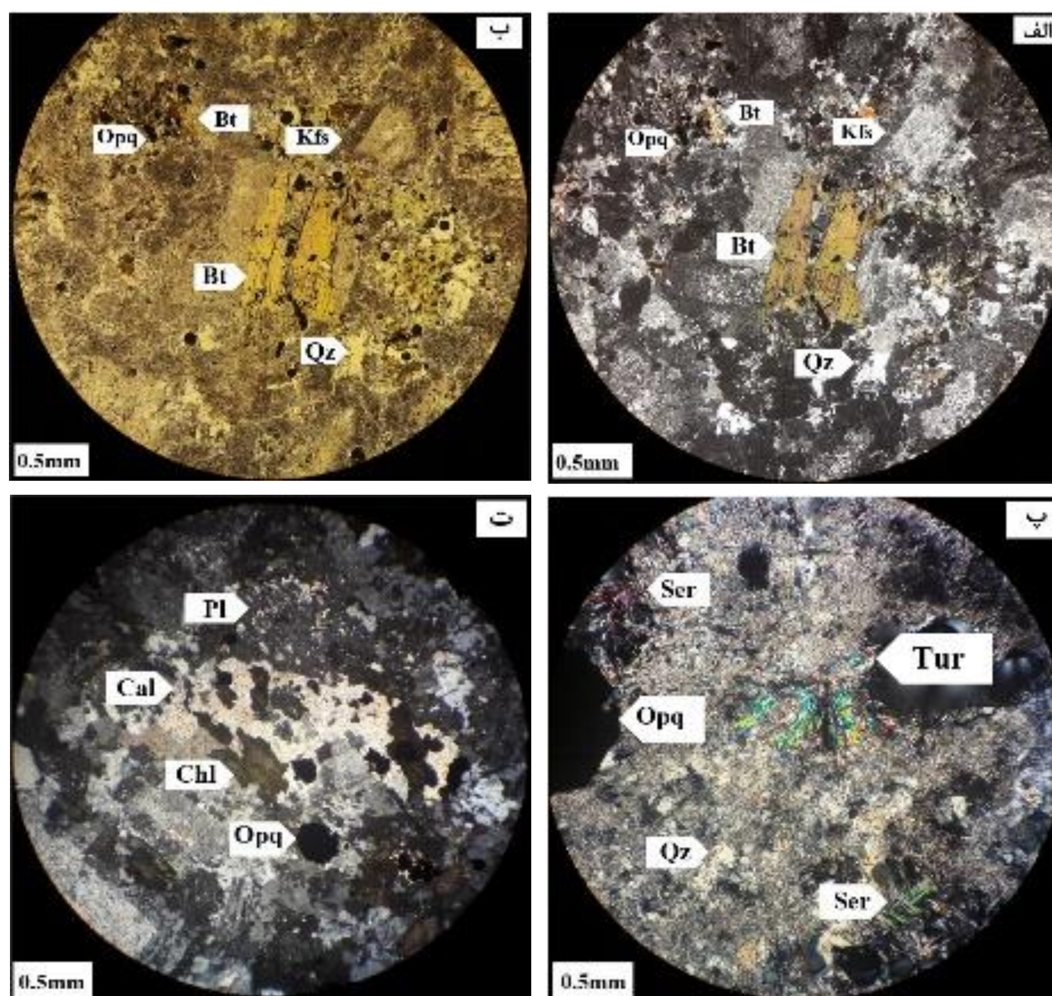
رخداد دگرسانی پتاسیمی با حضور فلدسپار پتاسیم ثانویه و بیوتیت‌های ریزبلور، در مقاطع میکروسکوپی قابل تشخیص است. بر اثر این دگرسانی کانی‌های فرومنیزین چون هورنبلند و صفحه‌های بیوتیت اولیه به بیوتیت ثانویه تبدیل شده‌اند (شکل‌های ۳ الف و ب). بیشترین مقدار کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدی درونزاد همراه با این مجموعه دگرسانی رخ داده است و اکسیدها و سولفیدها اغلب به صورت افشان و رگچه‌ای (درون رگچه‌های کوارتز- سولفید) حضور دارند.

رخداد دگرسانی فیلیک با حضور کوارتز، سریسیت و پیریت فراوان قابل تشخیص است (شکل ۳ پ). نتایج XRD برخی نمونه‌های این دگرسانی (جدول ۱) حضور مقادیری ایلیت و کائولینیت در پهنه فیلیک توده نفوذی را مشخص کرده است. تشکیل این مجموعه دگرسانی در اثر هجوم سیال‌ها و تخریب بافت سنگ، بیرون رانده شدن Ca ،Na و Mg و تشکیل سریسیت، کوارتز، کلریت، تورمالین و سولفیدهایی چون پیریت، کالکوپیریت، تترائدریت و بورنیت صورت می‌گیرد [۲۹]. جانشینی کوارتز و سریسیت به جای فلدسپارها، و ترکیب آهن آزاد شده از ساختار کانی‌های تیره چون بیوتیت و هورنبلند با گوگرد اضافه شده به سامانه توسط سیال‌های گرمابی و تشکیل پیریت از عوامل اثر گذار در تشکیل پهنه دگرسانی فیلیک در سامانه کانی‌سازی شله‌بران محسوب می‌شوند. به نظر می‌رسد که دگرسانی رسی همراه با دگرسانی فیلیک ناشی از محلول‌های برونزاد و تشکیل رس‌های ثانویه (دگرسانی سریسیت به کانی‌های رسی چون کائولینیت) باشد. این در حالی است که در برخی از مقاطع مورد بررسی و نتایج XRD (جدول ۱)، کانی‌های رسی از جمله ایلیت و پیروفیلیت در کنار پیریت اولیه قرار دارند که بیانگر اثر سیال‌های گرمابی در گسترش این پهنه دگرسانی است. بر این اساس، دگرسانی رسی سامانه مولیبدن-مس شله‌بران می‌تواند دارای دو خاستگاه درون‌زاد و برون‌زاد باشد. دگرسانی پروپیلیتیک در فاصله دورتری نسبت به مرکز سامانه قرار دارد که ناشی از دگرسانی پلاژیوکلاز به کلسیت و اپیدوت، هورنبلند به کلریت، اپیدوت و گاهی کلسیت است (شکل ۳ ت).

جدول ۲ نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال در رگه- رگچه‌های کوارتزی سامانه کانی‌سازی شله‌بران. (Th= دمای همگنی، Tm(NaCl)= دمای ذوب نمک طعام، Tmice= دمای ذوب یخ، Te= دمای نخستین ذوب یخ یا همگدازی و n= تعداد میانبار مورد بررسی).

نمونه	کانی	نوع میانبار		**Th** Range(°c)	**Tm**(NaCl) Range(°c)	**Te**(°c)	**Tm**ice(°c)	**Salinity** (wt%NaCl Eq)
Sh-2	کوارتز	اولیه	L-V(n=17)	۱۲۳-۲۶۴	-	۳۲- تا ۲۶-	۲٫۸- تا ۰٫۳-	۱٫۳۲-۴٫۵۴
			L-V-S(n=3)	۱۵۲-۲۷۵	۱۵۶-۲۲۳		-	۳۰-۳۳
Sh-4	کوارتز	اولیه	L-V(n=20)	۱۲۵-۲۷۴	-	۲۷- تا ۱۲-	۱۱- تا ۰٫۷-	۱٫۱۵-۱۵٫۹
Sh-10	کوارتز	اولیه	L-V(n=17)	۱۳۳-۴۴۷	-	۲۶- تا ۲۰-	۸٫۵- تا ۰٫۴-	۰٫۶-۱۳٫۰۷
			L-V-S(n=2)	۲۰۶-۲۳۷	۱۶۸-۳۱۷		-	۳۰٫۳۹-۴۰
Sh-32	کوارتز	اولیه	L-V(n=18)	۱۷۴-۳۵۳		۲۳- تا ۱۱-	۷٫۶- تا ۰٫۱-	۰٫۳۶-۱۱٫۲۲

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.471]



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی‌های کانسار شله‌بران با سنگ میزبان گرانودیوریتی: الف) دگرسانی پتاسیمی با حضور بیوتیت‌های ثانویه (Bt)، فلدسپار پتاسیم (Kfs)، کوارتز (Qz) و کانی‌های کدر (Opq) در نور قطبیده متقاطع XPL)، ب) تصویر الف در نور قطبیده صفحه‌ای (PPL)، پ) دگرسانی فیلیک با حضور کانی‌های سریسیت (Ser)، تورمالین (Tur)، کوارتز (Qz) و کانی‌های کدر (Opq) در نور قطبیده متقاطع (XPL) و ت) دگرسانی پروپیلیتیک با حضور کانی‌های کلسیت (Cal)، کلریت (Chl)، پلاژیوکلاز (Pl) و کانی‌های کدر (Opq) در نور قطبیده متقاطع XPL). نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۳۰] هستند.

کانی‌سازی

کانی‌سازی گرمابی درونزاد در توده‌های نفوذی شله‌بران اغلب بصورت پراکنده و افشان و تا حدی رگه- رگچه‌ای همراه با کوارتز، کربنات و سایر فراورده‌های دگرسانی درون‌زاد صورت گرفته است. بیشترین حجم کانی‌سازی افشان و رگچه‌ای همراه با دگرسانی پتاسیمی و فیلیک توده‌های نفوذی رخ داده است. کانی‌های سولفیدی اصلی درونزاد در این توده‌ها پیریت، کالکوپیریت و مولیبدنیت و کانی‌های اکسیدی اصلی درونزاد نیز مگنتیت و هماتیت هستند.

مولیبدنیت بصورت پولک‌های موج‌دار و خمیده، درون و در دیواره رگچه های کوارتزی پیریت‌دار (شکل‌های ۴ الف و ب) پهنه‌های پتاسیمی و حدواسط پتاسیمی- فیلیک و همچنین بصورت افشان (شکل ۴ ج) است و اغلب با پیریت همرشدی نشان می‌دهد.

کالکوپیریت مهم‌ترین و تقریباً تنها کانی سولفیدی درونزاد مس در این منطقه است و به صورت بلورهای ریز تا متوسط دانه، بی‌شکل تا شکلدار و بصورت افشان و پراکنده درون رگچه‌های کوارتزی پیریت‌دار، رگچه‌های کربناتی پیریت‌دار و رگچه‌های مستقل در پهنه‌های پتاسیمی و فیلیک حضور دارد (شکل‌های ۴ ت و ث).

پیریت به صورت افشان (شکل ۴ پ) درون رگچه‌های کوارتز- سولفید و نیز رگه- رگچه‌های لبه‌ای (شکل ۴ ج)

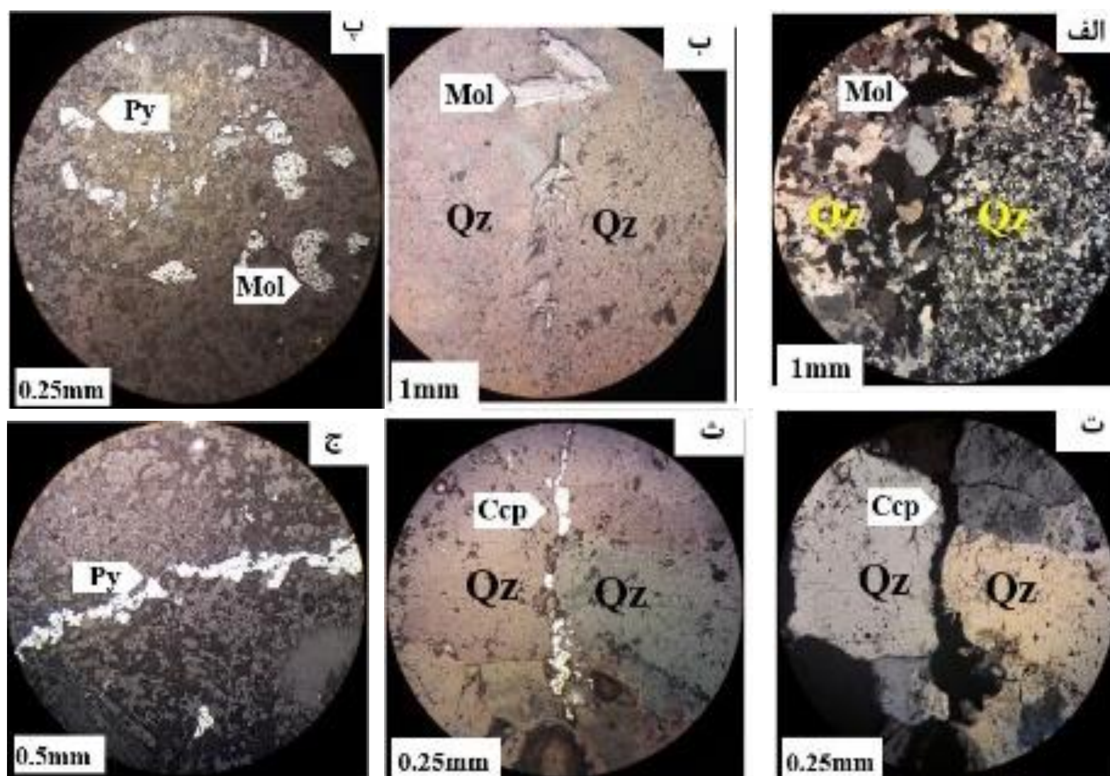
[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.471]

حضور دارد و همراه با فراورده‌های دگرسانی درونزاد دیده می‌شود. از نظر شکل بلورشناسی، این کانی بصورت شکلدار مکعبی و مثلثی تا بلورهای نیمه‌شکلدار، بی‌شکل و خرد شده حضور دارد و همرشدی و جانشینی با کالکوپیریت، مولیبدنیت نشان می‌دهد.

مگنتیت مهم‌ترین کانی اکسیدی در این توده‌هاست و همراه با مجموعه دگرسانی پتاسیمی و تا حدی پروپیلیتیک و فیلیک (جزئی) به صورت افشان دیده می‌شود. در اعماق به نسبت زیاد، این کانی بصورت غیردگرسان بوده اما در پهنه‌های خرد شده و در مناطق سطحی‌تر بصورت مشخص، مارتیتی شده است و تبدیل شدگی به هماتیت را نشان می‌دهد (شکل ۵ الف).

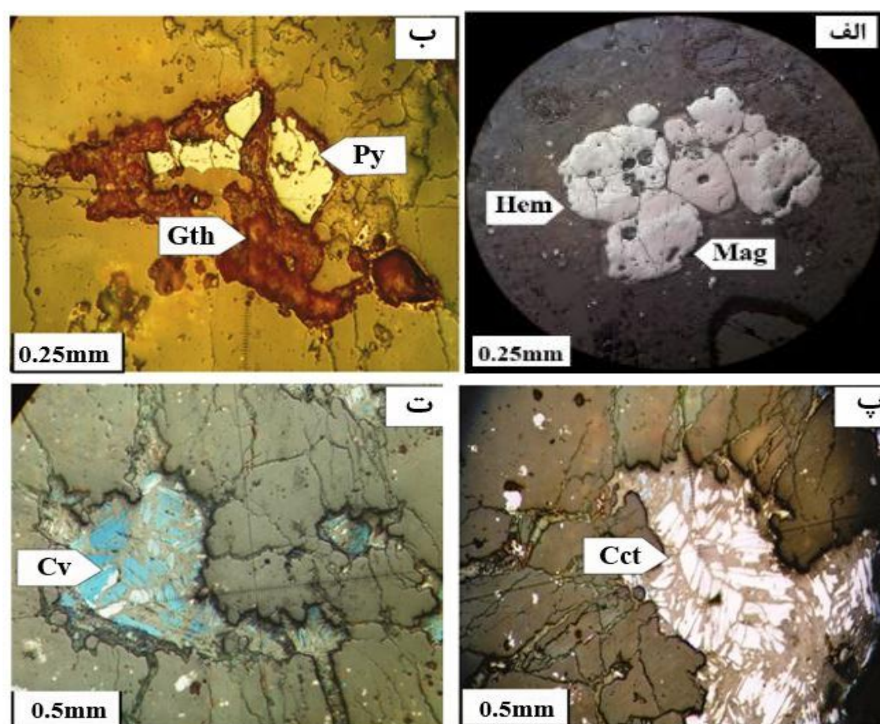
در برخی از نمونه‌های عمقی پهنه پتاسیمی، کمی هماتیت‌هایی بصورت افشان، توده‌ای و سوزنی ظریف دیده می‌شوند که با توجه به عمق زیاد و اثر نداشتن پدیده‌های برونزاد، این کانی‌ها ناشی از مارتیتی شدن مگنتیت‌ها نیستند. این نوع هماتیت (اسپیکولاریت) درونزاد است و در برخورد با شرایط اسیدی به گوتیت تبدیل می‌شود.

از دیگر نمودهای کانی‌سازی در منطقه شله‌بران می‌توان به کانی‌سازی به نسبت گسترده برون‌زاد اشاره کرد. از جمله آثار فرایندهای برونزاد می‌توان به جانشینی هماتیت و گوتیت به جای کانی‌های سولفیدی آهندار اولیه (شکل ۵ ب)، شکل‌گیری کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و جانشینی سولفیدهای ثانویه مس چون کالکوسیت (شکل ۵ پ) و کوولیت (شکل ۵ ت) به جای کالکوپیریت را نام برد. با وجود حضور گسترده کانی‌های برون‌زاد در رخنمون‌های سطحی پهنه‌های کانه‌سازی شده درون‌زاد، وجود بقایای کانی‌های سولفیدی (کالکوپیریت و پیریت) اولیه به صورت جزایر دربرگرفته شده با کانی‌های ثانویه برون‌زاد بیانگر نابالغ بودن کلاهک آهنی (گوسان) در گستره کانی‌سازی شله‌بران است. در شکل ۶، انبوهه‌های کانیایی در کانسار شله‌بران نشان داده شده است.



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی کانه‌های فلزی در کانسار شله‌بران شامل، الف) حضور مولیبدنیت (Mol) به صورت رگچه‌ای درون بلورهای کوارتز (Qz) در نور عبوری XPL، ب) تصویر الف در PPL، پ) حضور پیریت (Py) و مولیبدنیت (Mol) بصورت افشان در توده‌های نفوذی (گرانودیوریت) در نور عبوری XPL، ت) حضور کالکوپیریت (Ccp) در رگه- رگچه‌های کوارتز- سولفیدی در نور عبوری XPL، ث) تصویر ت در PPL و ج) حضور پیریت (Py) در رگه- رگچه‌های کوارتز- سولفیدی (در PPL). نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۳۰] هستند.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.471]



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی کانه‌های فلزی در کانسار شله‌بران: نور بازتابی PPL الف) مارتیتی شدن مگنتیت (Mag) توسط هماتیت (Hem) ب) جانشینی پیریت (Py) توسط گوتیت (Gth) که بقایای پیریت اولیه به صورت جزیره‌ای در میان گوتیت‌ها دیده می‌شود، پ) رشد کالکوسیت (Cct) درون فضاهای خالی و ت) کوولیت (Cv) که به طور کامل جانشین کالکوسیت شده است. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۳۰] هستند.

کانی	سنگ میزبان	کانی‌سازی درونزاد (دگرسانی هیپوژن)		کانی‌سازی برونزاد (دگرسانی سوپرژن)
		پتاسیمی	فیلیک	
کوارتز				
پلاژیوکلاز				
اورتوکلاز				
بیوتیت				
هورنبلند				
کلریت				
سریسیت				
مگنتیت				
پیریت				
کالکوپیریت				
مولیبدنیت				
کالکوسیت				
کوولیت				
هماتیت				
گوتیت				
مالاکیت				
آزوریت				

شکل ۶ توالی همبری کانیایی (کانسنگ و باطله) برای کانسار مولیبدن- مس شله‌بران

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.471]

بررسی‌های میانبارهای سیال

بررسی میانبارهای سیال امروزه به ابزاری قدرتمند برای تعیین شرایط تشکیل و نوع کانی‌سازی در سامانه‌های گرمابی از جمله ذخایر پورفیری و فراگرمایی تبدیل شده است [۳۱، ۳۲] در این پژوهش از بررسی میانبارهای سیال برای شناسایی نوع، درجه شوری و دمای سیال گرمابی در زمان کانی‌سازی استفاده گردید. برای بررسی میانبارهای سیال در سامانه کانی‌سازی مولیبدن- مس شله‌بران از نمونه‌های کوارتزی و رگچه‌های کوارتزی دارای پیریت- مولیبدنیت در پهنه پتاسیمی و پتاسیمی- فیلیک استفاده شد (شکل ۷). بررسی‌های سنگ‌نگاری به منظور تعیین انواع میانبارها (اولیه و ثانویه)، رده‌بندی زایشی، تهیه تصاویر مناسب و ریزدماسنجی انجام شد.

سنگ‌نگاری میانبارهای سیال

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که میانبارهای موجود در بلورهای کوارتز همزاد با رگه- رگچه‌های کانه‌دار از نوع اولیه و ثانویه هستند. اندازه میانبارهای اولیه از ۵ تا ۴۳ میکرون متغیر بوده و پدیده باریک‌شدگی در برخی از آنها قابل تشخیص است (شکل ۸ الف). اندازه بزرگ، توزیع ناهمگن، نسبت‌های فازی مشابه [۳۳، ۳۴] و نبود آرایه خطی وجه تشخیص میانبارهای اولیه از ثانویه بودند. میانبارهای ثانویه با توجه به آرایه‌های خطی، اندازه کوچک (۱ تا ۸ میکرون) و قرار گیری در راستای شکستگی‌ها [۳۳] تشخیص داده شدند (شکل ۸ ب). بر اساس مقدار هر فاز، میانبارهای سیال اولیه در کانسار شله‌بران به چهار نوع قابل تفکیک هستند: ۱) میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع (نوع L-V) اغلب درجه پرشدگی ۷۰ تا ۸۰ درصد و گاهی بیش از ۸۰ درصد را نشان می‌دهند (شکل ۸ پ). ۲) میانبارهای سیال دو فازی غنی از گاز (نوع V-L) دارای حباب گاز هستند که بیش از ۶۰ تا ۹۰ درصد فضای موجود را اشغال کرده است (شکل ۸ ت). به علت اشغال شدن حجم قابل توجهی از این میانبارها با فاز گازی، دمای همگنی در این میانبارها تعیین نشد. ۳) میانبارهای سیال سه فازی هالیت‌دار (نوع L-V-S) با حضور سه فاز مایع، گاز و جامد مشخص می‌شوند (شکل ۸ ث). درجه پرشدگی این میانبارها اغلب ۷۰ تا ۸۰ درصد است. فاز نوزاد جامد همراه با این نوع میانبارها هالیت است. ۴) میانبارهای سیال تک فاز گازی (نوع V): سیاه رنگ هستند و به همراه میانبارهای نوع L-V-S و L-V در بلور میزبان حضور دارند (شکل ۸ ج). حباب گاز بیش از ۹۵ درصد فضای موجود را اشغال کرده است.

بررسی‌های ریزدماسنجی

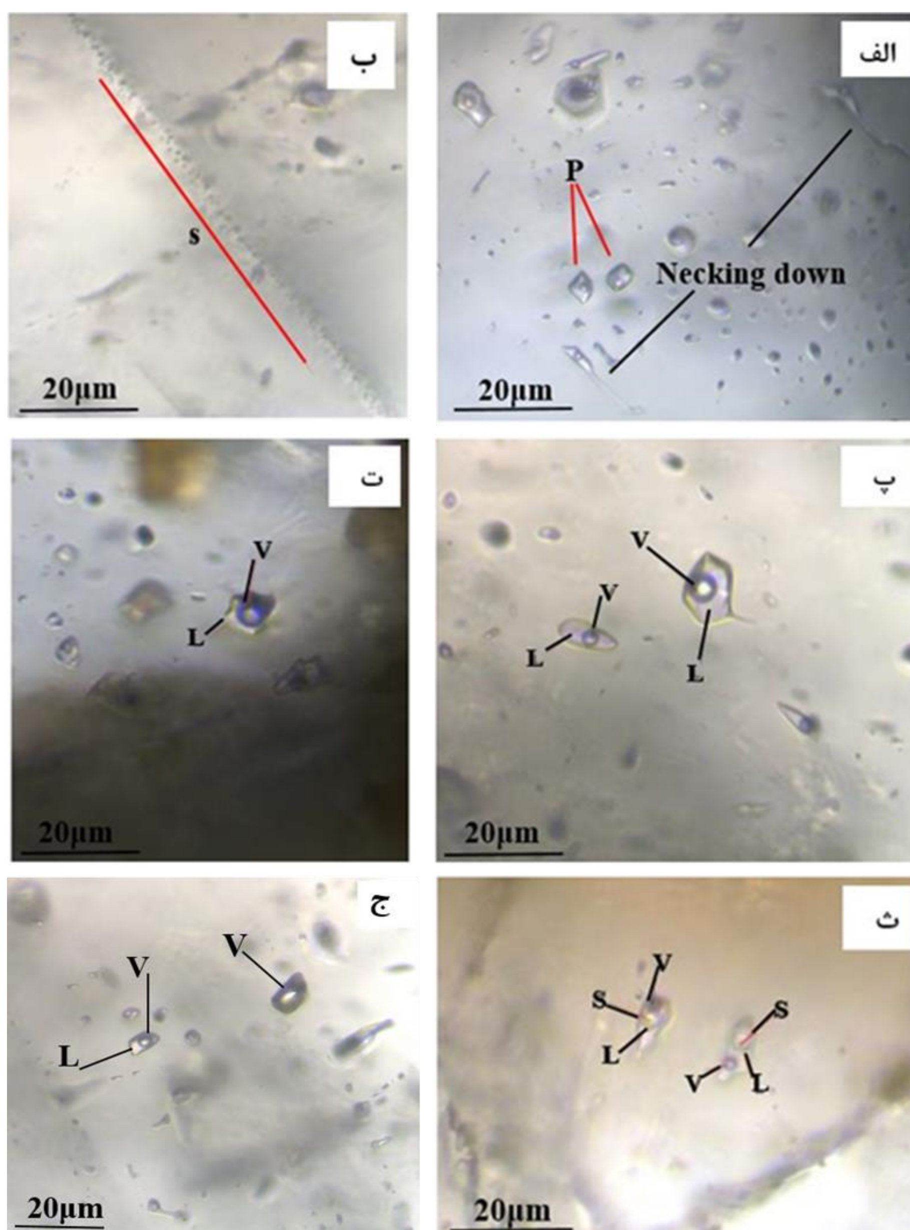
بررسی‌های ریزدماسنجی در دو مرحله سرمایش و گرمایش انجام شد. در مرحله سرمایش، نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که آخرین دمای ذوب یخ (Tm_{ice}) برای میانبارهای L-V در گستره ۰/۱- تا ۱۱- درجه سانتی‌گراد است که معادل با شوری‌های در گستره ۰/۳۶ تا ۱۵/۹ درصد نمک طعام هستند (جدول ۲). با توجه به جدول ۲، دمای انحلال هالیت (Ts) برای میانبار های نوع L-V-S در گستره ۱۵۶ تا ۳۱۷ درجه سانتی‌گراد است که معادل شوری‌هایی در گستره ۳۰ تا ۴۰ درصد معادل نمک طعام هستند. ذوب هالیت در اغلب میانبارهای L-V-S پس از همگن شدگی فاز مایع و گاز روی داده که نشانگر ابر اشباع بودن سیال کانی‌ساز در زمان به دام افتادن است. با توجه به گستره دمای نخستین ذوب یخ (Te)، ۱۱- تا ۳۲- درجه سانتی‌گراد، می‌توان گفت که سیال‌های کانه‌ساز افزون بر NaCl، در بردارنده مقادیر بسیار کمی از نمک‌های محلول دیگر چون $FeCl_2$ و $MgCl_2$ نیز بوده‌اند [۳۳]. در مرحله گرمایش، تقریباً همه میانبارهای دو فازی غنی از مایع L-V به فاز مایع همگن شدند و دماهای همگن شدگی (Th) آنها در گستره ۱۲۳ تا ۴۴۷ درجه سانتی‌گراد قرار دارد.



شکل ۷ نمایی از وضعیت رگه- رگچه‌های کوارتزی دارای پیریت- مولیبدنیت در نمونه دستی.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.471]

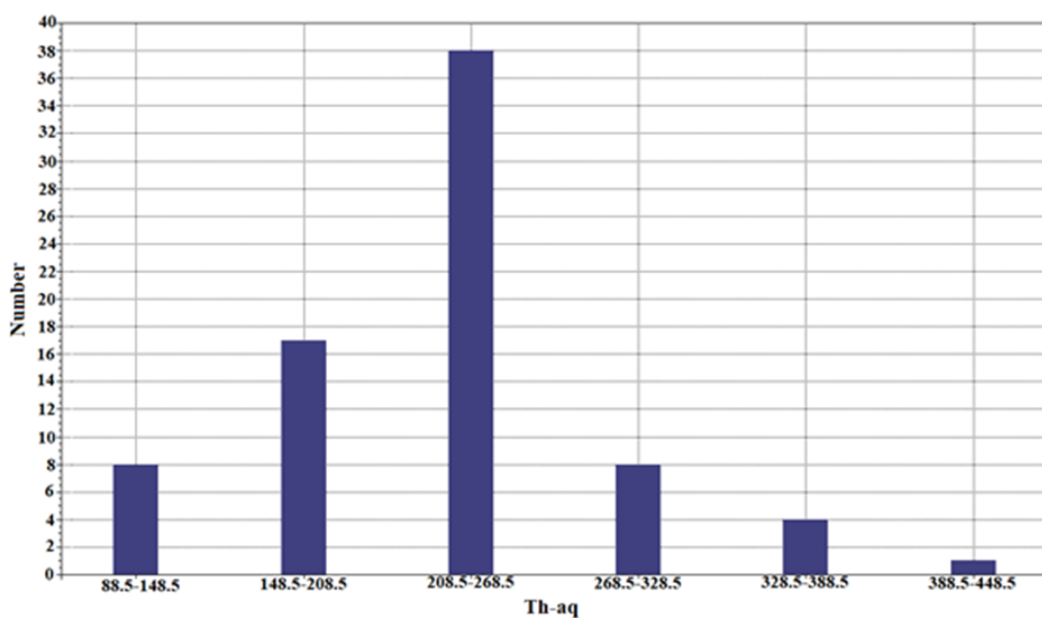
[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.471]



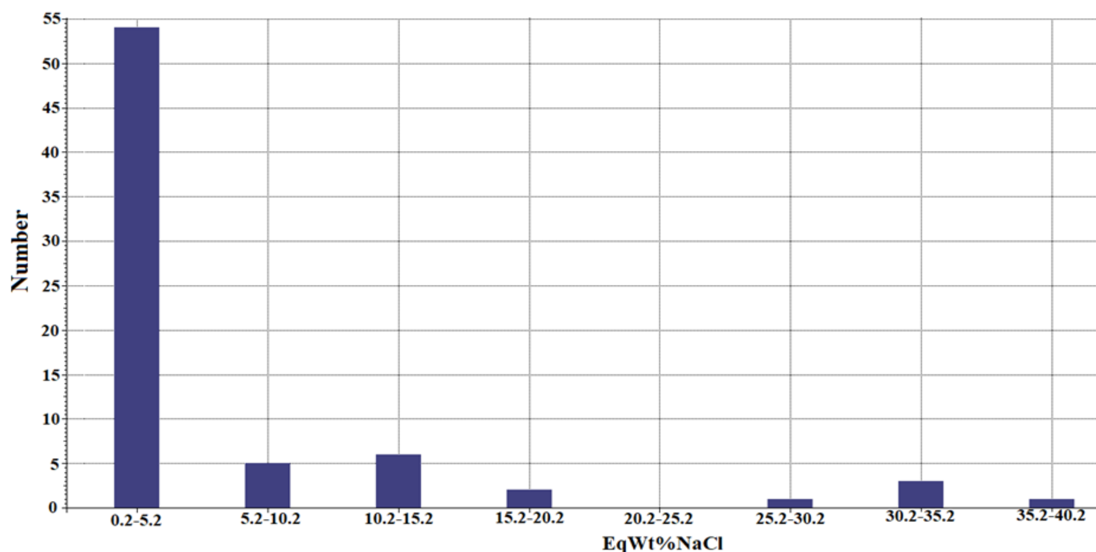
شکل ۸ انواع میانبارهای سیال مورد بررسی در سامانه کانی‌سازی شله‌بران: الف) میانبارهای اولیه (P) و پدیده باریک شدگی در آنها، ب) میانبارهای ثانویه (S) ریز با روند خطی، پ) میانبارهای دو فازی غنی از مایع (L-V)، ت) میانبارهای دو فازی غنی از گاز (V-L)، ث) میانبارهای سه فازی هالیت‌دار (L-V-S) و ج) میانبارهای تک فاز گازی (V) همراه با میانبارهای دو فازی (L-V).

بر اساس یافته‌های ریزدماسنجی، دو نوع از میانبارهای مورد بررسی L-V و L-V-S نماینده دو جمعیت متفاوت از نظر دمای همگن شدگی و شوری هستند (شکل‌های ۹ و ۱۰). در واقع، می‌توان گفت که میانبارهای سه فازی (L-V-S) که شوری و دمای بالایی را نشان می‌دهند، در مرحله‌ای از روند تکاملی سیال‌های کانه‌دار به دام افتاده‌اند که این سیال‌ها دچار جوشش شده بودند. حضور میانبارهای دو فازی L-V و تک فازی گازی (V) کنار آنها (شکل ۸ ج) می‌تواند این امر را تائید کند. در این مرحله، شوری سیال‌های کانه‌ساز که به احتمال بسیار دارای خاستگاه ماگمایی با شوری اولیه حدود ۵ درصد هستند در اثر جوشش به حدود ۴۰ درصد افزایش یافته است [۳۱]. از سوی دیگر، افزون بر میانبارهای دو فازی با دمای همگنی بالا، وجود میانبارهای دو فازی غنی از مایع (L-V) با شوری و دمای همگن شدگی به نسبت پایین، می‌تواند بیانگر مرحله بعدی کانه‌زایی باشد که طی آن، سیال‌های کانه‌ساز به احتمال بسیار سردشدگی معمول و آمیختگی با آب‌های

زیرزمینی (با دما و شوری پایین) را تجربه کرده‌اند. برای دیده روند تکاملی سیال‌های کانه‌دار و تعیین فشار در زمان محبوس شدن، از نمودار شوری نسبت به دمای همگنی (شکل ۱۱) استفاده شد. بر پایه این نمودار و شکل ۱۲، نقاط مربوط به یافته‌های میانبارهای سیال مورد بررسی روندی شبیه پدیده جوشش، سرد شدن ساده و آمیختگی با سیال‌های دارای دما و شوری پایین‌تر دارند. این روندهای تکاملی در سیال‌های کانه‌ساز می‌توانند تا حدی شبیه داده‌های میانبارهای سیال ذخایر پورفیری باشند [۳۱، ۳۳]. یافته‌های مربوط به میانبارهای مورد بررسی تا حدی مشابه با یافته‌های ریز دما سنجی گزارش شده برای رگچه‌های کوارتزی کانه‌دار ذخیره مس پورفیری علی جواد (آذربایجان شرقی) در کمربند مس پورفیری ارسباران [۱۰]، رگچه‌های کوارتزی کانسار سونگون اهر (آذربایجان شرقی) [۵]، رگه- رگچه‌های کوارتزی- سولفیدی دربردارنده مس- مولیبدن- طلا در ناحیه قره- چیلر [۳۴] و کانسارهای مس پورفیری تخت گنبد [۳۵] و بلبلی ۲ [۳۶] سیرجان (استان کرمان) هستند.

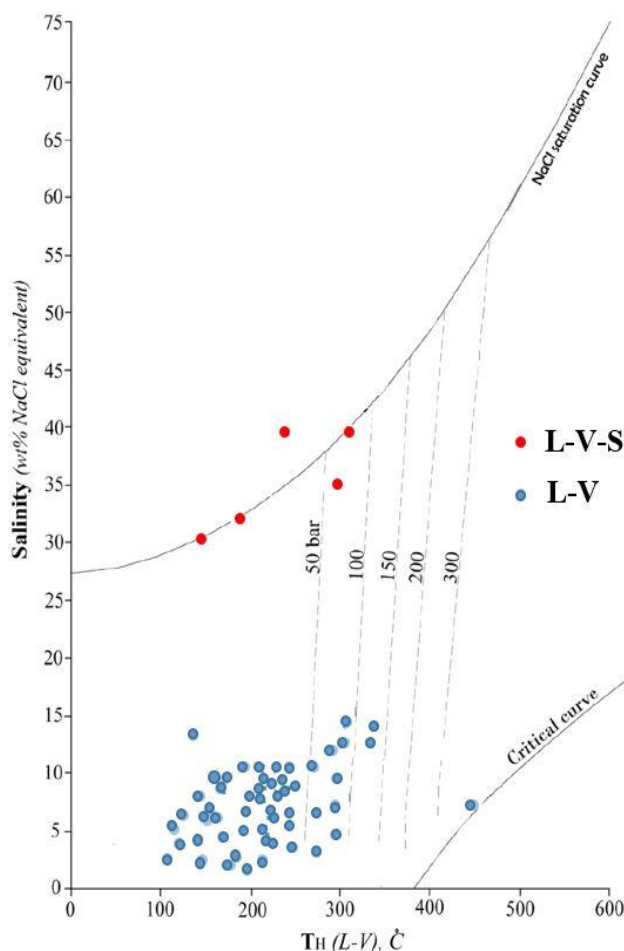


شکل ۹ نمودار ستونی دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال رگه- رگچه‌های کوارتزی شله‌بران.

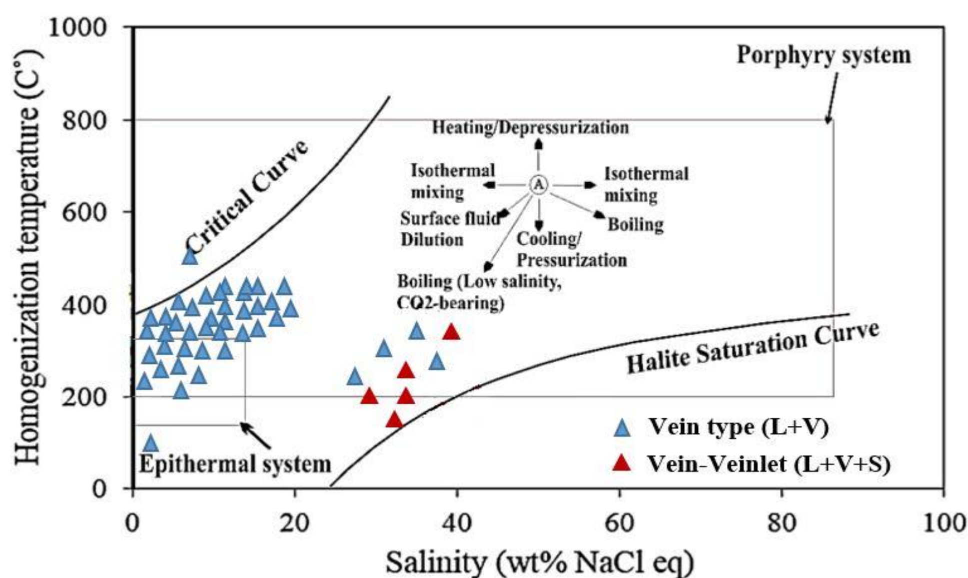


شکل ۱۰ نمودار ستونی فراوانی شوری میانبارهای سیال رگه- رگچه‌های کوارتزی شله‌بران.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.471]



شکل ۱۱ الگوی توزیع مقدار شوری نسبت به دمای همگنی برای میانبارهای سیال مورد بررسی در کانسار شله‌بران در مقایسه با منحنی اشباع از نمک و منحنی بحرانی (برگرفته از مرجع [۳۷]). خطوط نقطه چین نشانگر فشار بخار سیال‌های دارای NaCl در دماها و شوری‌های مختلف هستند [۳۸].



شکل ۱۲ توزیع میانبارهای سیال کانسار شله‌بران در نمودار دو متغیره دمای همگنی نسبت به شوری [۳۱، ۳۹] .

بر اساس نمودار دو متغیره شوری نسبت به دمای همگنی [۴۰،۳۸]، تعدادی از میانبارهای سه فازی شامل فاز جامد هالیت در بالای منحنی اشباع از نمک واقع هستند (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) که ممکن است بر اثر به دام افتادن ناهمگن بلورهای بسیار ریز هالیت به همراه سیال در حال جوشش و اشباع از NaCl باشد [۳۷] .

برآورد عمق، فشار و چگالی میانبارهای سیال

وقتی در یک سیال گرمابی کانی‌ساز رخداد جوشش از عوامل موثر در ته‌نشست فلزها باشد، می‌توان دمای همگنی را معادل دمای به دام افتادن در نظر گرفت و دیگر نیاز به تصحیح فشار نیست [۳۳، ۳۹]. بر اساس نمودار دو متغیره دمای همگن شدگی نسبت به شوری (شکل ۱۱)، می‌توان گفت که سیال‌های کانه‌ساز در دمای حدود ۳۰۰ درجه سانتیگراد پدیده جوشش را تجربه کرده‌اند که نتیجه آن به دام افتادن سیال‌هایی با شوری بالا بوده است. در این حالت، این سیال‌ها فشار ایستابی حدود ۱۰۰ بار (شکل ۱۱) را تجربه می‌کرده‌اند که آن هم می‌تواند معادل عمقی حدود یک کیلومتر پایین‌تر از سطح ایستابی سفره‌های آب زیرزمینی طی کانی‌سازی باشد. این عمق کانه‌زایی در کانسار شله‌بران می‌تواند شبیه بسیاری از ذخایر مس پورفیری در جهان باشد [۴۰]. همچنین، بر اساس نمودار دو متغیره شوری نسبت به دمای همگن شدگی (شکل ۱۳) [۳۱]، چگالی سیال‌های مسئول کانی‌سازی در کانسار شله‌بران در گستره ۰/۵ تا ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌کند. چگالی‌های حدود ۱/۱ g/cm3 مربوط به میانبارهای سیال سه فازی دربردارنده بلورهای نوزاد هالیت هستند.

برداشت

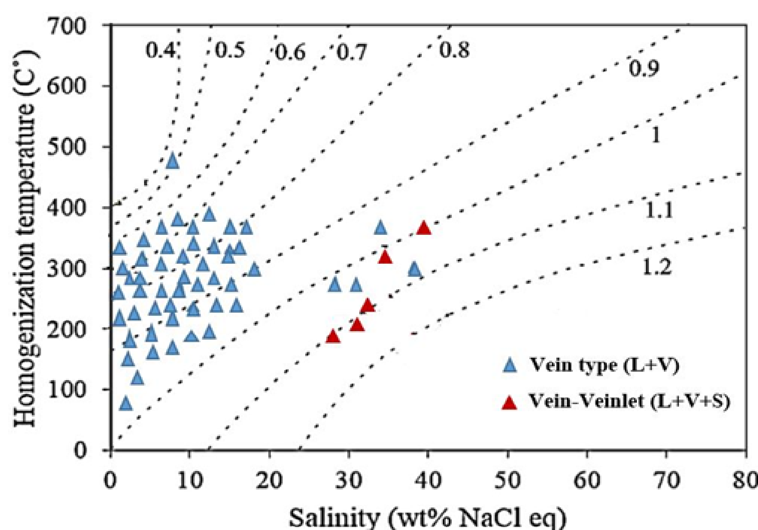
۱- کانی‌سازی درون‌زاد (مولیبدنیت، کالکوپیریت، پیریت و مگنتیت) و برون‌زاد (هماتیت، گوتیت، مالاکیت و آزوریت) در کانسار شله‌بران (شمال‌شرق اهر) با میزبان گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت‌های الیگوسن و واحدهای توفی، آندزیتی و داسیتی وابسته به ائوسن رخ داده است.

۲- شواهد صحرایی و بررسی‌های میکروسکوپی بیانگر گسترش کانی‌سازی مولیبدن- مس در یک سامانه رگه- رگچه‌ای با بافت‌های دانه‌ای و افشان بود.

۳- شواهدی چون گسترش بافت رگه‌ای و رگه- رگچه‌ای، حضور دگرسانی‌های پتاسیمی و فیلیک، وجود میانبارهای سیال غنی از مایع، غنی از گاز و غنی از مایع شامل فاز جامد به صورت همزاد، و شوری بالای برخی از میانبارهای سیال مورد بررسی نشان دادند که سیال‌های گرمابی در کانسار شله‌بران ماهیت ماگمایی و جوی دارند.

۴- بررسی میانبارهای سیال نشانگر رخدادهای پدیده جوشش، آمیختگی و سردشدگی معمول به عنوان مهم‌ترین عوامل اثر گذار طی گسترش رگه- رگچه‌های کانه‌دار در کانسار شله‌بران بود.

۵- بر اساس شواهد نوع سنگ میزبان، دگرسانی، شکل کانی-سازی، نوع کانه‌ها و ویژگی‌های سیال‌های موثر در کانی‌سازی، کانسار شله‌بران از نظر ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی بیشترین شباهت را به سامانه‌های گرمابی مس پورفیری دارد.



شکل ۱۳ توزیع فراوانی داده‌های میانبارهای سیال رگه- رگچه‌های کانی‌زایی شده کانسار شله‌بران در نمودار دو متغیره دمای همگنی نسبت به شوری همراه با تغییرات چگالی (خطوط نقطه چین) [۳۹].

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.471]

قدردانی

نگارندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تبریز برخوردار بوده‌اند که به این وسیله کمال تشکر خود را از آنان اعلام می‌دارند. نگارندگان، همچنین از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

[1] Jamali H., Dilek Y., Daliran F., Yaghubpur A. M., Mehrabi B., *"Metallogeny and tectonic evolution of the Cenozoic Ahar–Arasbaran volcanic belt, northern Iran"*, International Geology Reviews 52 (2010) 608–630 (in Persian).

[2] Jamali H., Yaghubpur A. M., Mehrabi B., *"Relationship between copper and gold mineralizations with different magmatic phases in Khankandi and Yousef Lu massives, east of Ahar"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20 (2012) 547-564 (in Persian).

[3] Calagari A.A., Patrik A., Polia D., *"Study of veins and micro veins in Sungun porphyry copper deposit of East Azerbaijan"*, Scientific Quarterly Journal of Geosciences 10 (2001) 39-48 (in persian).

[4] Calagari A.A., *"Geology and fracture-related hypogene hydrothermal alteration and mineralization of porphyry copper deposit at Sungun, Iran"*, Journal of Geological Society of India
64 (2004a) 595-618.

[5] Calagari A.A., *"Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East-Azarbaidjan Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences 23 (2004) 179-189.

[6] Hassanpour S., Alirezaei S., *"Eocene Masjeddaghi porphyry Cu-Au deposit; an example of island arc porphyry type deposit in NW Iran"*, Scientific Quarterly Journal of Geoscience 26 (2017) 43-58 (in Persian).

[7] Hosseinzadeh M.R., Maghfouri S., Ghorbani M., Moayyed M., *"Different types of vein-veinlets related to mineralization and fluid inclusion studies in the Sonajil porphyry Cu-Mo deposit, Arasbaran magmatic zone"*, Scientific Quarterly Journal of Geoscience 26 (2016) 219-231 (in Persian).

[8] Hassanpour S., Rasa A., Heydari M., Moayyed M., *"Geology, alteration and mineralization in the Haft-Cheshmeh Cu-Mo porphyry deposit"*, Scientific Quarterly Journal of Geoscience 4 (2010) 15-28 (in Persian).

[9] Simmonds V., Calagari A.A., Kyser K., *"Fluid inclusion and stable isotope studies of the Kighal porphyry Cu-Mo prospect, East Azarbaidjan, NW Iran"*, Arabian Journal of Geosciences 8 (2015) 437-453.

[10] Hajalilou B., Aghazadeh M., *"Fluid inclusion studies on quartz veinlets at the Ali Javad porphyry copper-gold deposit, Arasbaran, Northwestern Iran"*, Journal of Geoscience and Environment Protection 4 (2016) 80-91.

[11] Calagari A.A., Hosseinzadeh, G., *"The mineralogy of copper- bearing skarn to the east of the Sungun-Chay river, East- Azarbaidjan, Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences 28 (2006) 423-438.

[12] Alavi S.G., Hosseinzadeh M.R., Moayyed M., *"Petrography and petrology of the Sungun porphyry copper deposit and post mineralization dykes with a view to Skarn mineralization (north of Varzeghan, East Azarbaijan)"*, Iranian journal of petrology 17 (2014) 17-32 (in Persian).

[13] Mollai H., Sharma R., Pe-Piper G., *"Copper mineralization around the Ahar Batolith, north of Ahar (NW Iran): evidence for fluid evolution and the origin of the skarn ore deposit"*, Ore Geology Reviews 35 (2009) 401-414.

[14] Hosseinzadeh G., Calagari A.A., Malek Ghasemi F., Mojtahedi M., *"Economic Geology investigation of the Anjard Copper deposit (Northwest of Ahar)"*, 3rd Symposium of Geological Society of Iran, Shiraz, Iran 1999 (in Persian).

[15] Hassanpour S., *"The alteration, mineralogy and geochronology (SHRIMP U-Pb and $^{40}Ar/^{39}Ar$) of copper bearing Anjerd skarn, north of the Shayvar Mountain, NW Iran"*, International Journal of Earth Sciences 102 (2013) 687-699.

[16] Karimzadeh Somarin A.R., Radmard K., Calagari A.A., Moayyed M., *"Investigation of Cu-*

[25] Ferdawsi R., *"The Studies of Geochemistry, Alteration, Mineralization, Fluid Inclusion, and Genesis of Base metals and Gold (Copper, Gold) In the region of Estarghan, Kharvana, East Azerbaijan"*, Ph.D. Thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran (2015) 1-300 (in persian).

[26] Mahdavi M.A., Amini fazl A., *"1:100000 geological map of the Ahar"*, Geological Survey of Iran (1989).

[27] Mehrpartou M., Nazer K., *"1:100000 geological of the Kaleybar"*, Geological Survey of Iran (1999).

[28] Babakhani A.R., Lesquyer J.L., Rico R., *"Ahar Quadrangle (scale 1:250000)"*, Geological Survey of Iran (1976).

[29] Seedorff E., Dilles J.H., Profett J.M., Jr., Einaudi M.T., Zurcher L., Stavast W.J.A., Johnson D.A., Barton M.D., *"Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features"*, Economic Geology 100th Anniversary Volume (2005) 251-298.

[30] Whitney D.W., Evans B.W., *"Abbreviations for names of rock forming minerals"*, American Mineralogist 95 (2010) 185-187.

[31] Wilkinson J.J., *"Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits"*, Lithos 55 (2001) 229-272.

[32] Pirajno F., *"Hydrothermal processes and mineral systems"*, Springer (2009) 1-1243.

[33] Shepherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H.M., *"A practical guide to fluid inclusion studies"*, Blackie, Glasgow (1985) 1-239.

[34] Simmonds V., Moazzen M., *"Fluid inclusion studies on Cu-Mo-Au bearing quartz-sulfide veins and veinlets in Qarachilar area, Qaradagh pluton (NW Iran)"*, Periodico di Mineralogia 85 (2016) 261-276.

[35] Salehi Tinooni M., Abedini A., Calagari A.A., *"Investigation of Mineralization, Alteration, and Fluid inclusions of the Takht-e-Gonbad Copper deposit"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 29 (2021) 35-48 (in Persian).

[36] Salehi Tinooni M., Abedini A., Calagari A.A., *"Mineralization type and Investigation of Fluid inclusions of the Bolboli-2 Copper deposit, in the northeast of Sirjan, southeast Iran"*, Iranian

Mo Skarn in Zand Abad (Northwest of Ahar)", 6th Symposium of Geological Society of Iran, Kerman, Iran (2002) (in Persian).

[17] Mahmoudniya H., Jahangiri A., *"Petrographic and petrogenetic studies of adakitic magmatism of Gavdel (Shivar Dagh) in Gare dagh- South Arminian Zone (Northwest of Iran)"*, Iranian Journal of Petrology 8 (2017) 21-36 (in persian).

[18] Asgharzadeh-Asl H., Tale Fazl E., Mehrabi B., Masoudi F., *"Geochemical metallogenic evolution of Agh-Daregh igneous rocks (north of Ahar) links to Cu-Au±W occurrences"*, Iranian Journal of Petrology 8 (2018) 21-44 (in persian).

[19] Nakhjavani B., Calagari A.A., Alavi S.G., Siah Cheshm K., *"Study of intrusive body associated with Gowdal skarn (North of Ahar) and its comparison with other skarn granitoids"*, Iranian Journal of Petrology 44: 111-134 (in persian).

[20] Hajalilou B., Imani F., Khaleghi F., *"Economic geology studies of Cu-Mo mineralization related with silica vein in Javan sheikh of Ahar, with emphasis on Fluid Inclusion studies"*, 17th Conference of Geological Society of Iran, Tehran, Iran (2013b) (in persian).

[21] Jamali H., Yaghubpur A. M., Mehrabi B., *"Geology, geochemistry and possible origin of polymetallic mineralization of Miveh rood in northwestern Iran"*, Scientific Quarterly Journal of Geosciences 71 (2009) 53-62 (in persian).

[22] Jamali H., Mehrabi B., *"Relationships between arc maturity and Cu-Mo-Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran magmatic belt"*, Ore Geology Reviews 65 (2015) 487-501.

[23] Nakhjavani B., Alavi S.G., *"Type of mineralization, Geochemistry of Alteretion and Relation of Gold and associated elements in the Hizeh-jan area (NW Iran)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 26 (2018) 637-688 (in persian).

[24] Ghadimzadeh H., Mehrpartou M., Mohammadi B., *"Gold generation in Safi Khanlu-Naqduz area"*, 8th Symposium of Geological Society of Iran, Shahroud, Iran 2004 (in persian).

Journal of Crystallography and Mineralogy 28 (2020) 329-340-48 (in Persian).

[37] Bodnar R.J., Lecumberri Sanchez P., Moncada D., Steele-Maclnnis M., *"Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits"*, Treatise on Geochemistry, Second Edition 13 (2014) 119-142.

[38] Ahmad S.N., Rose A.W., *"Fluid inclusion in porphyry and skarn ore at New Miexico"*, Economic Geology 75 (1980) 229-250.

[39] Roedder E., Bodnar R.J., *"Geologic pressure determinations from fluid inclusions studies"*, Earth and Planetary Science Letters 8 (1980) 263-301.

[40] Roedder E., *"Fluid inclusion "*, Mineralogy Society of America Review in mineralogy 12 (1984) 1-644.

.